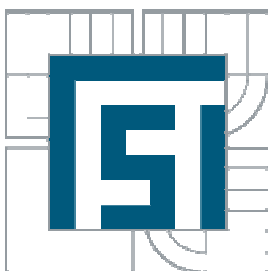


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SPIRÁLNÍ ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK

SPIRAL CONVEYOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ BEDNÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KAŠPÁREK, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Bednář

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Spirální šnekový dopravník

v anglickém jazyce:

Spiral conveyor

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést výpočet a konstrukční řešení dopravníku pro zadané rozměrové a výkonnostní parametry. Provést výběr dopravovaných materiálů vhodných pro tento typ dopravníku.

Dopravní výkon 4 500kg.h-1

Dopravní vzdálenost 8,5m

Dpravovaný materiál max. objemové hmotnosti 2000kg.m-3

Cíle bakalářské práce:

Provést funkční výpočet, určení hlavních rozměrů

a návrh pohonu. Uvést parametry dopravovaných materiálů.

Nakreslete sestavný výkres dopravníku,

nakreslete detail spirály.



Seznam odborné literatury:

1. Dražan, F. a kol.: Teorie a stavba dopravníků.
2. Kolář, D. a kol.: Části a mechanismy strojů.
3. Ondráček, E., Vrbka, J., Janíček, P. : Mechanika těles - pružnost a pevnost II VUT Brno, 1988.
4. Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004.
5. Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno 2003.
6. Janíček P., Ondráček E., Vrbka J.: Pružnost a pevnost, VUT Brno, 1992.
7. Gajdůšek, J., Škopán, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno 1988.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 21.11.2011

  
prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc. prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Ředitel ústavu Děkan



ABSTRAKT

Obsahem této bakalářské práce je návrh konstrukčního řešení spirálního šnekového dopravníku sloužícího pro dopravu pšenice ze zásobníku do mlecího zařízení. V úvodu je popsána teoretická část šnekových dopravníků, spirálních šnekových dopravníků a dopravovaných materiálů. Dále následuje konstrukční řešení a výpočet důležitých částí dopravníku.

KLÍČOVÁ SLOVA

spirální šnekový dopravník, bezosý šnekový dopravník, výkon motoru, spirála, ložisko, konstrukce dopravníku.

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is a proposal construction of the spiral conveyor serving to the transport wheat from the container to the grinding equipment. The introduction describes the theoretical part of the screw conveyors, spiral conveyors and transported materials. This is followed by construction solution and calculation of the most important parts of the conveyor.

KEYWORDS

spiral conveyor, shaftless screw conveyor, engine power, spiral, bearing, construction of conveyor.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BEDNÁŘ, J. SPIRÁLNÍ ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 38 s. Vedoucí diplomové práce Ing. JAROSLAV KAŠPÁREK, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. JAROSLAV KAŠPÁREK, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2012

.....

Jiří Bednář



PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svojí rodině za podporu a důvěru, kterou do mě vkládali a všem, jež se svými cennými radami podíleli na tvorbě této bakalářské práce.



OBSAH

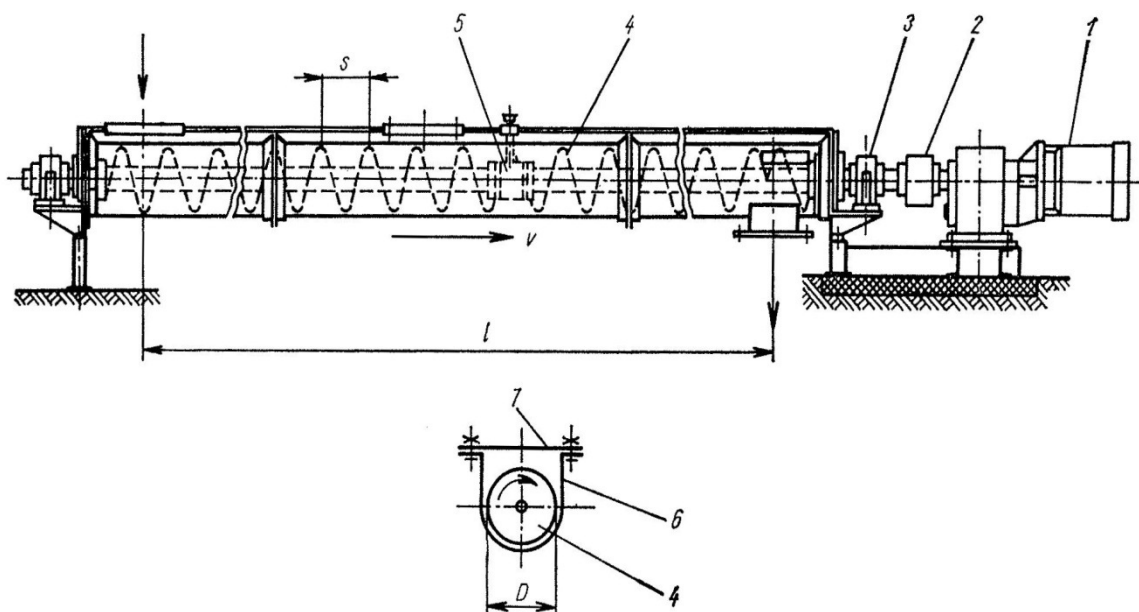
Šnekový dopravník	10
1 Části šnekového dopravníku	11
1.1 Šnek	11
1.2 Žlab	12
1.3 Pohon	13
1.4 Spojení	14
1.4.1 Spojení přímé	14
1.4.2 Spojení řetězem	14
1.4.3 Spojení řemenem	14
2 Spirální šnekový dopravník	15
2.1 Lehké bezosé spirální dopravníky	16
2.2 Robustní bezosé spirální dopravníky	16
2.3 Robustní plastové spirální dopravníky	17
2.4 Robustní bezosé spirální dopravníky s plastovou vložkou	17
3 Dopravované materiály	18
4 Výpočet hlavních částí dopravníku	19
4.1 Výpočet dopravovaného množství	19
4.2 Výpočet rozměrů spirály	19
4.3 Výkon motoru	20
5 Pohon dopravníku	21
5.1 Výběr elektromotoru a převodovky	21
5.2 Skutečný dopravní výkon	23
6 Axiální síla	24
7 Ložisko	25
8 Spojka	26
9 Spirála	28
10 Žlab	29
11 Podpěry a ukotvení	30
11.1 Hmotnost spirály	30
11.2 Hmotnost dopravovaného materiálu	30
11.3 Hmotnost žlabu	30
11.4 Celková hmotnost dopravníku bez motoru	31
12 Pevnostní výpočet	32
13 Montáž a údržba dopravníku	33
13.1 Montáž dopravníku	33



13.2 Údržba dopravníku	33
Závěr	34
Seznam použitých zkratk a symbolů	36
Seznam příloh	38

ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK

Šnekové dopravníky přemísťují materiál pomocí rotujícího šneku. Skládají se ze žlabu jako nosného orgánu, šneku a pohonu. Obr. 1 ukazuje schematicky šnekový dopravník pro vodorovnou dopravu. Uvnitř žlabu v jeho ose je uložen šnek. Při rotaci šneku dochází k posouvání dopravovaného materiálu ve žlabu. Šnekové dopravníky mají jednoduchou konstrukci a dobře se začleňují do automatických výrobních linek. Jejich jednoduchá konstrukce dává záruku spolehlivé funkce. Zabírají malý prostor. Šnekové dopravníky se používají pro vodorovnou, šikmou a výjimečně svislou dopravu. Jsou vhodné pro dopravu řady materiálů, jako jsou materiály prašné, zrnité, drobně kusovité do maximální velikosti kusů 60 mm, částečně vlhké, vláknité, v běžném provedení do sklonu 20°. Mohou plnit i technologické funkce, např. míchání, mytí, hnětení, ohřívání, chlazení. Dopravované množství se u šnekových dopravníků pohybuje od 1 do 300 m³h⁻¹, jejich délky dosahují až 60 m. Otáčky šneku jsou zpravidla v rozmezí 0,2 až 0,4 s⁻¹. Dopravní rychlost nepřesahuje 0,5 m·s⁻¹. [1]



Obr. 1 Šnekový dopravník; 1-hnací převodový elektromotor, 2-spojka, 3-ložiska, 4-šnek, 5-vodící ložiska, 6-žlab, 7-víko žlabu [1]

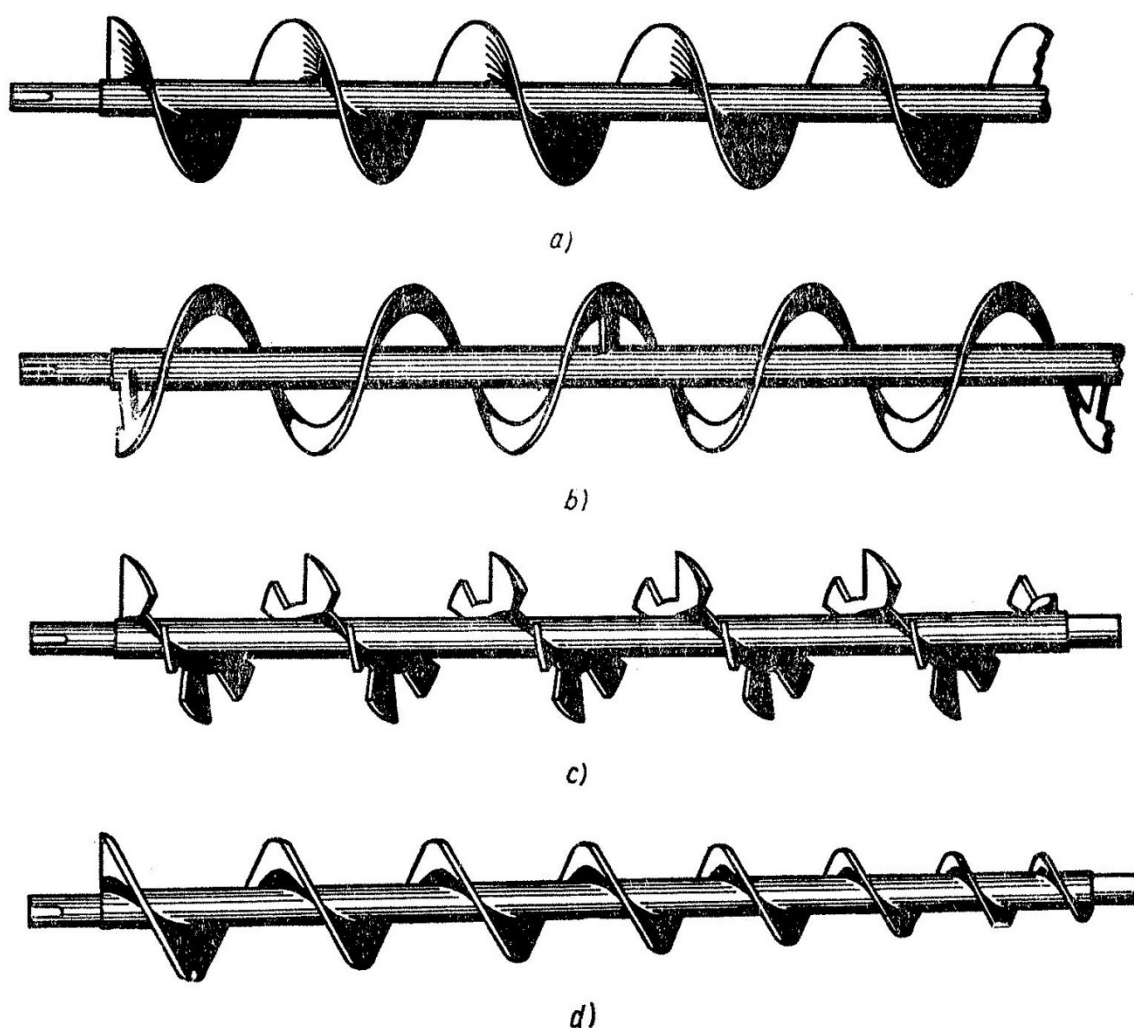


1 ČÁSTI ŠNEKOVÉHO DOPRAVNÍKU

Nejdůležitější části šnekového dopravníku jsou šnek, žlab, pohon.

1.1 ŠNEK

Šnek je podstatnou částí dopravníku. Do značné míry určuje vlastnosti dopravníku. Šnek se skládá z hřídele a šnekovnice. Hřídel bývá plný i trubkový s plnými čepy pro uložení v ložiskách. Na hřídeli je upevněna (přivařena) šnekovnice. Šnekovnice může mít pravé nebo levé stoupání. To je důležité z hlediska dopravovaného materiálu.

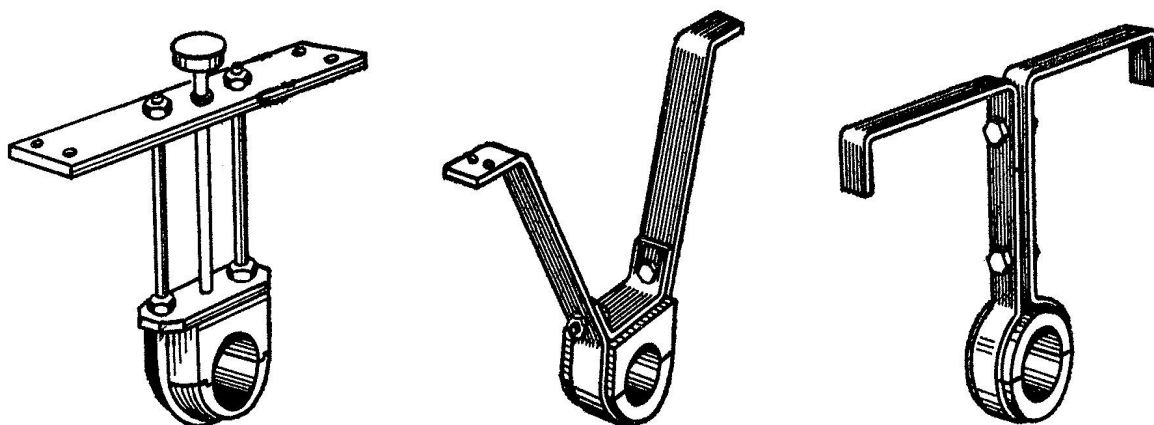


Obr. 2 Typy šnekovnic; a)plná, b)obvodová, c)lopatková, d)kuželová [1]



Plnou šnekovnici tvoří plochý závit z ocelového plechu nebo odlitek, který je svým vnitřním průměrem uchycena na hřídeli šneku. Šnekovnice z ocelového plechu bývá vyrobena buď válcováním z pásů, nebo svařováním mezikruhových výstřižků. Vícechodé šneky jsou vhodné pro šikmé šnekové dopravníky dopravující velmi sypké materiály, neboť zabráňují zpětnému pohybu materiálu. Šneky s obvodovou šnekovnicí jsou určeny pro dopravu tuhých, hustých, tekoucích a lepkavých materiálů. Lopatkové šneky s lopatkami různého tvaru se používají tehdy, kdy se má dopravovaný materiál promíchávat. Šneky s kuželovou šnekovnicí se používají pro speciální účely. Vyrábějí se též s proměnlivým stoupáním. Je-li nejmenší průměr a nejmenší stoupání v místě přivádění materiálu dosahuje se nakypření materiálu.

Hřídel šneku přenáší krouticí moment od pohonu na šnekovnici. Při menších rozměrech šneku bývá plný a většinou kruhového průřezu. Při větších rozměrech se vyrábí z ocelové tlustostěnné trubky. Šneky s trubkovým hřídelem mají při nízké váze značnou ohybovou tuhost. V případech, kdy dopravovaný materiál nesmí přijít do styku s ocelí, zhotoví se šnekovnice ze dřeva, plastických hmot, mědi a ocelový hřídel se opatří povlakem z podobného materiálu. Hřídel šneku je svými konci uložen v předním a zadním čele žlabu a to zpravidla ve valivých ložiskách, z nichž jedno musí zachycovat axiální síly. Nemá-li dojít k přílišnému průhybu hřídele při jeho větších délkách, je nutné ho uložit ve vzdálenostech 2,5 až 3 m v podpěrných vodících ložiskách zobrazených na Obr. 3. Tato ložiska bývají výškově stavitelná, kluzná s pouzdry ze šedé litiny, bronzu, popř. plastických hmot. V místech uložení hřídele bývá provedeno i spojování jednotlivých dílců šneku.

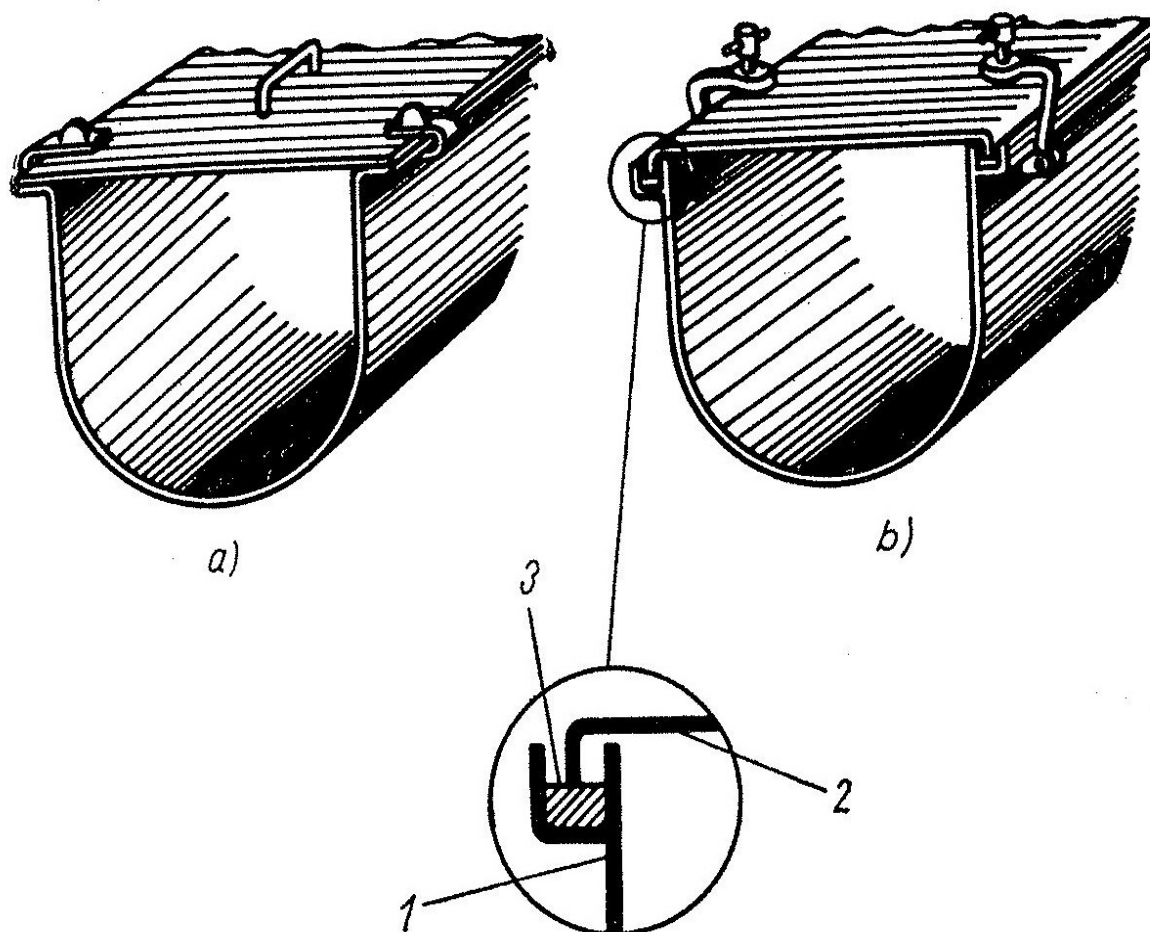


Obr. 3 Vodící podpěrná ložiska [1]

1.2 ŽLAB

Tvoří nosnou část dopravníku. Mívá tvar písmene U a jeho rozměry jsou odvozeny od rozměru šneku. Minimální vůle mezi šnekem a žlabem bývá 5 až 10 mm a je určena hlavně výrobními tolerancemi šneku a druhem dopravovaného materiálu. Podobně jako šneky jsou žlaby sestaveny do potřebné délky ze sekcí. Jsou zhotoveny z ocelového plechu o tloušťce 2 až 8 mm. V horní části průřezu žlabu je plech ohraňen. Vytvořený lem zvyšuje tuhost žlabu a umožňuje upevnění víka. Žlábek se vyplňuje těsnícím materiálem (pryž, asfalt apod.) jak je zobrazeno na Obr. 4.

Dopravovaný materiál se do žlabu přivádí shora, přiváděcími otvory ve víku, je-li žlab krytý. Přivádění materiálu je možné v libovolném místě, musí však být rovnoměrné. Odvádět materiál z dopravníku je možno opět v libovolném místě, a to otvorem se šoupátkem ve dně žlabu, nebo klapkou na konci žlabu. Odběr materiálu může být i na několika místech. Pak jsou odváděcí otvory uzavíratelné pomocí šoupátek a otvírá se šoupátko v požadovaném místě odběru.[1]



Obr. 4 Zakrytí žlabu šnekového dopravníku; a) jednoduché, b) těsné, 1-žlab, 2-víko, 3-těsnění Části šnekového dopravníku[1]

1.3 POHON

K pohonu šnekových dopravníků se dnes nejčastěji používá převodkových elektromotorů. Hnací skupina se ukládá obvykle na konzolu spojenou s čelem žlabu nebo přírubovým spojem přímo na čelo žlabu. U větších jednotek má pohon samostatný základ. Hnací moment se z výstupního hřídele převodovky přenáší na hřídel šneku pružnou spojkou.[1]



1.4 SPOJENÍ

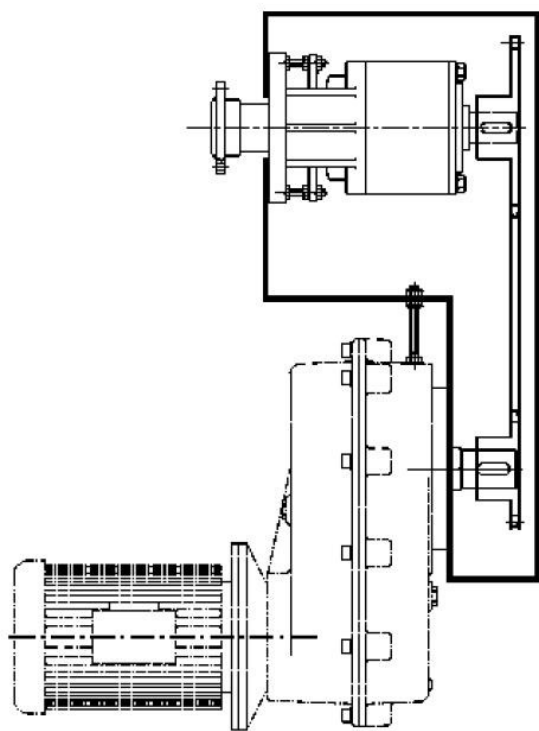
Ke spojení výstupního hřídele a hřídele elektromotoru se používají tři základní druhy spojení.

1.4.1 SPOJENÍ PŘÍMÉ

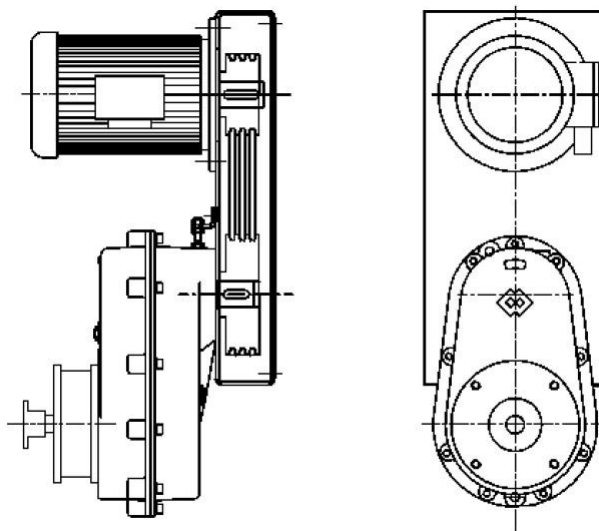
Spojení přímé se užívá u dopravníků, které nebývají limitovány větší celkovou délkou dopravníku. Výhodou tohoto spojení je jednoduchost spoje, který je zpravidla realizován pomocí pružné kotoučové spojky vyznačující se jednoduchou konstrukcí a výrobou.

1.4.2 SPOJENÍ ŘETĚZEM

Spojení řetězem se používá v prostorech, kde není možné využít spojení přímé. Toto spojení je bez skluzu a tím se dosahuje přesných převodových poměrů. Změna otáček se dá realizovat změnou převodového poměru ozubených kol.



Obr. 5 Spojení řetězem[6]



Obr. 6 Spojení řemenem[6]

1.4.3 SPOJENÍ ŘEMENEM

Používá se při dopravě materiálu, kde dochází k přičení materiálu. Skluz řemenu zajistí to, že nebude poškozena žádná další část dopravníku. Nevýhodou však je, že může dojít k nežádoucím skluzům, které vedou k nepřesnosti dávkování. Proto se nepoužívá u přesných dopravovaných množství. Podobně jako u spojení řetězem se dají měnit otáčky pomocí změny převodového poměru řemenic.



2 SPIRÁLNÍ ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK

Spirální šnekový dopravník slouží k dopravě a dávkování sypkých materiálů. Jejich jednoduchá konstrukce a jednoduchý princip práce zajišťují efektivní a mnohostranné využití (vyprazdňování a plnění zásobníků, mixérů, kontejnerů, násypek balících strojů apod.). Základním prvkem spirálních šnekových dopravníků je bezosá spirála lichoběžníkového nebo obdélníkového průřezu. Materiál spirál se liší dle určitého případu, pro který má být dopravník využit. Nejčastěji se používají tři typy materiálu a to uhlíková ocel, nerezová ocel a pružinová ocel. U spirál vyrobených z pružinové oceli je možné dopravovat materiál i do oblouků. Žlab spirálních šnekových dopravníků bývá průřezu U a nejčastěji průřezu O a pro lepší kluzné vlastnosti lze použít plastovou vložku, umístěnou v dopravníku. Konstrukce umožňuje více násypných a výsypných míst na jednom dopravníku. Spirální šnekový dopravník bývá zpravidla navrhnut s tažným dopravním účinkem, ale u krátkých dopravníků můžeme aplikovat i tlačný dopravní účinek. Pohon spirály zajišťuje převodovka s elektromotorem nebo jen elektromotor. Využívá se plného i částečného zaplnění žlabu. Plné zaplnění žlabu se používá pouze u spirálních šnekových dopravníků. Toto řešení umožňuje dopravovat velké množství materiálu při malých otáčkách a relativně malé spotřebě energie. Při otáčení spirály v plně zaplněném žlabu dochází ke středění spirály a tím i k menšímu opotřebení jak spirály, tak i žlabu. V některých případech však úplné zaplnění nelze použít a proto se využívá částečného zaplnění. Toto řešení lze aplikovat u provozů s menším dopravovaným množstvím materiálu. Jelikož se spirála dotýká stěny žlabu, dochází zde k opotřebovávání spirály i žlabu. Tomuto opotřebování lze částečně zabránit použitím plastové vložky. Stupeň zaplnění žlabu může být kontrolován automatickými čidly.



Obr. 7 Spirální šnekový dopravník [3]



2.1 LEHKÉ BEZOSÉ SPIRÁLNÍ DOPRAVNÍKY

Lehké spirálové dopravníky se používají pro dopravu jemnozrnných a lehkých materiálů pro dopravní výkony cca 0,001 do 15 m³/hod. Zvláště při nutnosti dopravy v obloucích a na velké vzdálenosti až do 120 m na jednu pohonnou jednotku. Na celé dopravní trase nejsou žádná meziložiska a tím je umožněno dopravovat materiál v celém průřezu při objemovém výkonu o cca 70% větším, než je výkon klasických šnekových dopravníků s hřídelí a meziložisky při srovnatelných parametrech. Velké použití dopravníků je zejména v potravinářském, chemickém a plastikářském průmyslu pro dávkování do balících strojů a vázících zařízení. Poloměry oblouků jsou navrženy pro jednotlivé průměry dopravníků optimálním způsobem tak, aby byl zachován princip tj. vystředění bezosé spirály dopravovaným materiálem. Na jedné trase je možno používat několik vstupů, výpadů i oblouků v závislosti na fyzikálních vlastnostech dopravovaného materiálu a technologických podmínkách. Materiálové provedení dopravníků může být ocelové, nerezové nebo plastové.[2]

2.2 ROBUSTNÍ BEZOSÉ SPIRÁLNÍ DOPRAVNÍKY

Pro náročnější použití zejména v těžkém průmyslu nebo pro velké výkony od 0,01 do 600m³/hod se používají robustní bezosé spirální dopravníky. Je možno dopravovat velmi abrazivní materiály (korundová drť, šterk, písek, drcené kamenivo, brusný prach, stavební materiály, uhlí, struska apod.), lepidlo a mokré materiály (odpadní kaly, zemina, bentonit apod.), velmi jemné a tekoucí materiály (potravinářské prášky, chemické materiály, popílek apod.). Pro extrémně namáhané případy (velké dopravní vzdálenosti, doprava materiálů o velmi vysoké sypné hmotnosti apod.) se vyrábí robustní spirály ze dvou nebo tří vzájemně spojených profilů. Tloušťka takových bezosých spirál může být až 30 mm a průměr až 800mm. Díky vysoké kvalitě robustních spirál mohou být spirály pro bezosé dopravníky tažené nebo tlačené, spojené kolmo na sebe i svislé. Délky robustních spirálních dopravníků záleží na druhu dopravovaného materiálu, kde se při vodorovné dopravě dosahuje až vzdáleností 55m a při svislé dopravě 25 m na jednu pohonnou jednotku.[2]



Obr. 9 Detail robustní spirály [5]



Obr. 8 Nerezová robustní spirála[2]



2.3 ROBUSTNÍ PLASTOVÉ SPIRÁLNÍ DOPRAVNÍKY

Skládají se z plastové spirály vyztužené pomocí ocelové vložky. Používají na menší dopravovaná množství především v potravinářském průmyslu (pro lepivé, vlhké, abrazivní materiály) a chemickém průmyslu (pro dopravu materiálu nereagujícím se zvoleným typem plastu). U potrubí těchto plastových spirálních dopravníků bývá využíváno plastových vložek. Velkou výhodou je tichý chod a lehčí konstrukce oproti ocelovým spirálním dopravníkům.[2]

2.4 ROBUSTNÍ BEZOSÉ SPIRÁLNÍ DOPRAVNÍKY S PLASTOVOU VLOŽKOU

Robustní bezosé spirální dopravníky s plastovou vložkou jsou dopravníky určené k dopravě lepivých materiálů, kde se do ocelového nebo nerezového potrubí spirálních šnekových dopravníků umísťují plastové vložky z polyamidu. Tyto dopravníky je možno v některých případech provozovat naprázdno bez dopravovaného materiálu. Lze dopravovat i materiály, které se snadno zhutňují a vytvářejí slepené tvrdé krusty. Dále můžeme úplně vyčistit dopravní potrubí, jelikož dopravovaný materiál jde jednoduše odstranit z plastové vložky. Široké uplatnění těchto dopravníků je v potravinářském průmyslu, neboť plastové vložky splňují atest pro možnost krátkodobého styku s potravinami. Vložky vyrobené na bázi polyamidu mají lepší vlastnosti v tahu, v houževnatosti, v abrazi, v mechanickém namáhání a nízkém adhezním součiniteli. Teplota dopravovaných materiálů při použití plastové vložky může být do 140°C, krátkodobě až do 180°C.[2]

3 DOPRAVOVANÉ MATERIÁLY

Mnohostranné využití spirálních šnekových dopravníků nepotvrzuje jen např. doprava do oblouků ale i doprava mnoha různých materiálů, které by jiné dopravníky dopravovat nemohly nebo by to pro ně bylo náročné. Spirální šnekové dopravníky mohou dopravovat velmi jemné, neabrazivní prášky jako třeba mletý vápenec, cement, cukr, mletý grafit, sušené mléko ale i hrubé, velice abrazivní materiály jako je štěrk, hnědé uhlí apod. Využívá se i v čistírnách odpadních vod, kde dopravuje různé heterogenní materiály typu, kaly, odpady, potravinářské výrobky či zbytky.



Obr. 10 Doprava heterogenních materiálů[3]

Parametry pšenice:

Pšenice patří do skupiny jemnozrnných, lehce abrazivních materiálů. Používá se jako krmivo v nezpracovaném stavu nebo se dále zpracovává např. mletím na mouku. Synná hmotnost pšenice se pohybuje kolem $750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a třecí úhel je $\varphi = 33,18^\circ$.



4 VÝPOČET HLAVNÍCH ČÁSTÍ DOPRAVNÍKU

Spirální šnekový dopravník bude sloužit pro přepravu pšenice ze zásobníku do mlecího zařízení. Jelikož je pšenice již zbavena nečistot je důležité dbát na hygienickou dopravu. Z tohoto důvodu budou části, které přijdou do styku s pšenicí navrhnuty z nerezové oceli. Pro výpočet hlavních částí spirálního šnekového dopravníku neexistuje norma ani žádný výpočet. Výpočet bude prováděn úpravou koeficientů normy ČSN 26 2802 pro šnekový dopravník.

4.1 VÝPOČET DOPRAVOVANÉHO MNOŽSTVÍ

$$Q = 4500 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\rho_V = 750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$Q_V = \frac{Q}{\rho_V} = \frac{4500}{750} = 6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (1)$$

4.2 VÝPOČET ROZMĚRŮ SPIRÁLY

Ze vzorce (2)

$$Q_V = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \cdot \psi \cdot n \cdot C_H \quad (2)$$

získám úpravou vzorec pro výpočet průměru spirály.

$$D = \sqrt[2]{\frac{4 \cdot Q_V}{3600 \cdot \pi \cdot s \cdot \psi \cdot n \cdot C_H}} = \sqrt[2]{\frac{4 \cdot 6}{3600 \cdot \pi \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 2,1 \cdot 1}} = 0,101 \text{ m}$$

$C_H = 1$ – Dle lit.[1] str. 93 úhel sklonu 0°

$s = D$ – Dle lit. [1] str. 92 pro menší průměr spirály

$\psi = 1$ – plné zaplnění žlabu

$n = 2,1 \text{ s}^{-1}$ - [1] str. 92 pro lehké neabrazivní materiály



Dle stránek firmy Rataj a.s. [2] pro bezosé spirály jsem zvolil spirálu podobných rozměrů, které jsem vypočítal. Robustní bezosá spirála RLN 100 o rozměrech 100x100x34x5 kde vnější průměr spirály je 100 mm, stoupání spirály 100 mm, menší průměr 34 mm a tloušťka spirály 5 mm.

4.3 VÝKON MOTORU

$$P_{\text{Ř}} = \frac{Q_V \cdot \rho_V \cdot g}{3600} \cdot (l_W \cdot w) = \frac{6 \cdot 750 \cdot 9,81}{3600} \cdot (8,5 \cdot 5,2) = 542 \text{ W} \quad (3)$$

Příkon dopravníku je určen řadou dílčích odporů, z nichž některé se nedají stanovit výpočtem s dostatečnou přesností. Proto se příkon motoru stanoví z celkového součinitele odporu. Ten je pro pšenici s plněním $\psi_1 = 45\%$ dle [1] str. 94 $w_1 = 2,3$. Jelikož do mého výpočtu počítám s $\psi = 100\%$ plněním zvýším celkový součinitel o rozdíl mezi procenty plnění.

$$w = \frac{w_1}{\psi_1} \cdot \psi = \frac{2,3}{45} \cdot 100 = 5,11 \rightarrow 5,2$$



5 POHON DOPRAVNÍKU

Pro chod dopravníku je nutné zajistit správný typ a výkon pohonu. V tomto případě je možné volit ze dvou možností a to samostatný elektromotor s připojenou převodovkou (většinou od jiného výrobce) a nebo převodový elektromotor.

5.1 VÝBĚR ELEKTROMOTORU A PŘEVODOVKY

K pohonu dopravníku sem zvolil převodový elektromotor s označením R67DRE90L4 vyráběný firmou SEW EURODRIVE. U tohoto čtyřpólového elektromotoru o výkonu 1,5 kW a otáčkách 1430 min^{-1} jsou výstupní otáčky $n_v = 2,0666 \text{ s}^{-1}$ a výstupní moment $M_K = 116 \text{ N}\cdot\text{m}$. Detailnější parametry motoru lze zjistit z Obr. 11. Tato verze se vyznačuje nižší spotřebou energie oproti starší verzi. Velkou výhodou je, že motor je již z výroby osazen převodovkou. Firma dodává motory již smontované, s olejovou náplní a plně připravené pro provoz. Jejich technická podpora může motor zapojit přímo na požadovaném místě a případně vyřešit problém se zapojením a doladěním. V případě poruchy je možno využít servis, který se postará o vyřešení problému.

AC gearmotor

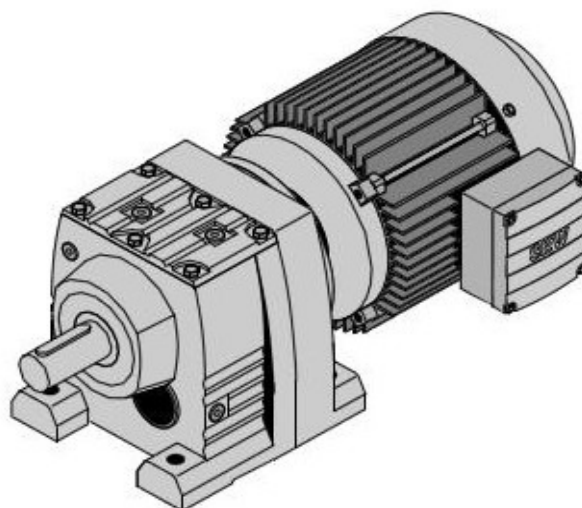
R67DRE90L4

Rated motor speed	[1/min] : 1430
Output speed	[1/min] : 124
Overall gear ratio	: 11,54
Output torque	[Nm] : 116
Service factor SEW-FB	: 4,30
input mounting position/IM	: M1
Terminal box position	: 0
Cable entry/connector position	: X
Output shaft	[mm] : 35x70
Permitted output overhung load with $n=1400$	[N] : 7700
Motor power	[kW] : 1,5
Duration factor	: S1-100%
Efficiency class	: IE2
Efficiency (50/75/100% P _n)	[%] : 83,5 / 84,7 / 84
CE mark	: Ne
Motor voltage	[V] : 230/400
Wiring diagram	: R13
Frequency	[Hz] : 50
Rated current	[A] : 5,8 / 3,35
Cos Phi	: 0,77
Thermal classification	: 130(B)
Motor protection type	: IP54
Design requirement	: IEC
Net weight	[Kg] : 45

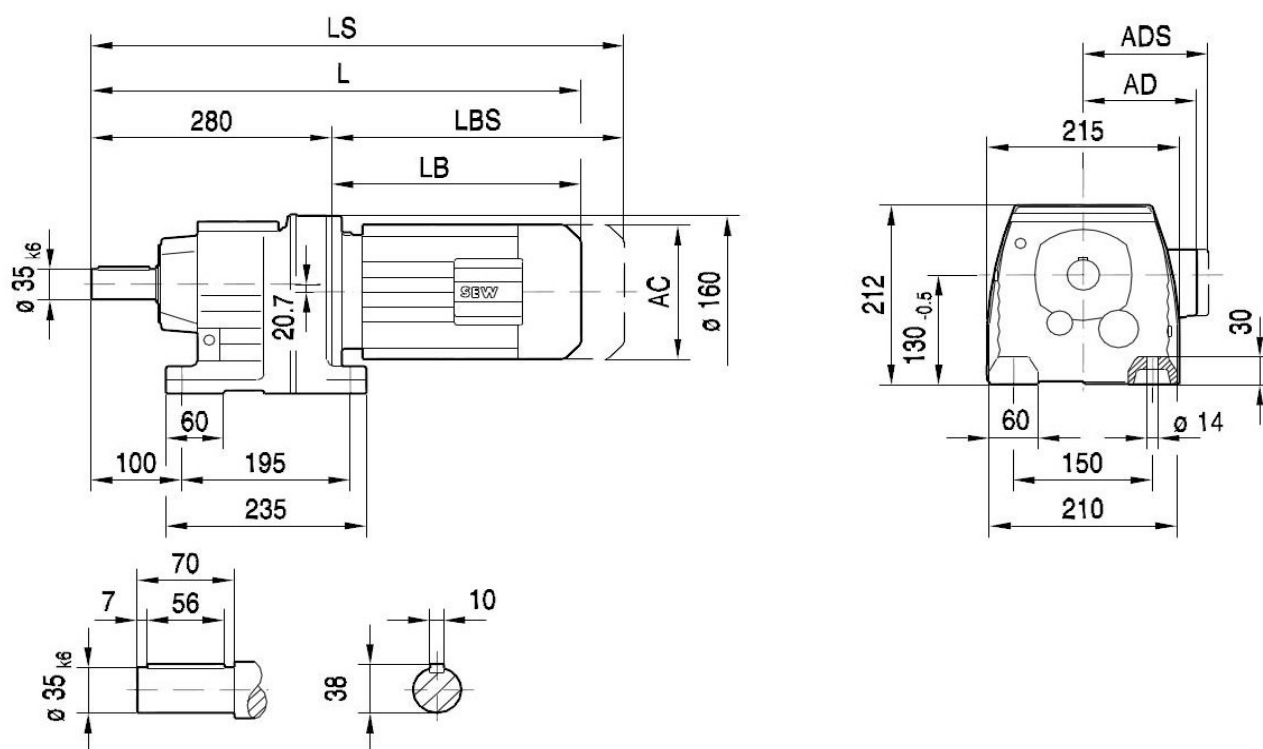
Additional feature and Options

Color: 7031 Blue Grey (20070310)
Output shaft (diameter x length) 35x70 mm
Terminal box position: 0 ° / X

Obr. 11 Parametry převodového elektromotoru



Obr. 13 Převodový elektromotor R67[7]



Obr. 12 Rozměry převodového elektromotoru R67DRE90L4[7]

Tab. 1 Dodatkové rozměry převodového elektromotoru R67DRE90L4

Rozměry v mm						
AC	AD	ADS	L	LS	LB	LBS
197	154	161	549	634	269	313



5.2 SKUTEČNÝ DOPRAVNÍ VÝKON

Při výpočtu průměru šnekovnice jsem se dopustil zaokrouhlení a tím i chyby v objemovém dopravním množství. Ani výstupní otáčky motoru neodpovídají hodnotě, s kterou bylo dříve počítáno. Je proto nutné zkontrolovat zdali se dopravní výkon alespoň přibližně rovná požadovanému dopravnímu výkonu.

$$Q_{SKUT} = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \cdot \psi \cdot n_v \cdot C_H = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 2,0666 \cdot 1 = 5,844 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (4)$$

Procentuální vyjádření rozdílu dopravovaného množství.

$$\Delta Q = \frac{Q_V - Q_{SKUT}}{Q_V} \cdot 100 = \frac{6 - 5,844}{6} \cdot 100 = 2,6\% \quad (5)$$

Skutečná hodnota se od požadované liší o $0,156 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ což je o 2,6% . Tyto hodnoty jsou zanedbatelné a proto můžeme považovat návrh pohonu za správný. Pro zvýšení přesnosti je možné motor osadit frekvenčním měničem, kterým můžeme regulovat otáčky a tím i hodnotu dopravovaného množství.



6 AXIÁLNÍ SÍLA

Působením materiálu na spirálu a stěny dopravníku vzniká axiální síla, kterou musíme odstranit. Řešením je ložisko zachytávající axiální sílu umístěné na výstupní hřídeli.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s}{\pi \cdot D} \quad \rightarrow \quad \alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{s}{\pi \cdot D} \right) = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{0,1}{\pi \cdot 0,1} \right) = 17,65^\circ \quad (6)$$

$$F_A = \frac{M_K}{R_S \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)} = \frac{116}{0,025 \cdot \operatorname{tg}(17,65 + 33,18)} = 3780 \text{ N} \quad (7)$$

$\varphi = 33,18^\circ$ - Dle lit.[6] str.43

$R_S = 0,5 \cdot D/2$ - Dle lit. [1] str. 93



7 LOŽISKO

K zachycení sil, které zatěžují dopravník je nutné použít ložisko. Pro tento případ jsem použil soudečkové ložisko BS2-2207-2CS/VT143, které je z důvodu lepšího mazání oboustranně zakrytované.

Radiální zatížení je voleno z odhadované hmotnosti součástí, které působí toto zatížení. Podstatnou složkou je však axiální síla, nejvíce namáhající ložisko.

$$F_r = 200 \text{ N}$$

$$F_a = 3780 \text{ N}$$

SKF

Trvanlivost ložiska

Byla přijata veškerá opatření pro zajištění správnosti tohoto výpočtu, avšak nepřebíráme odpovědnost za jakékoli ztráty nebo škody, ať už přímé, nepřímé nebo následné, které by vznikly z důvodu použití tohoto výpočtu.
 Viz část "Trvanlivost podle SKF"

Zvolit η_c <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; display: inline-block;">0.5 ▼</div>	Ložisko d [mm] D [mm] C [kN] P _u [kN] P [kN] n [min ⁻¹] v [mm ² /s]	BS2-2207-2CS/VT143 <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">35</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">72</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">86.5</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">9.3</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">12.6</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">124</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">730</div> <div style="border: 1px solid #0056b3; padding: 2px; margin-bottom: 2px; text-align: center;">Vypočítat</div>
--	--	--

	L ₁₀	610	L _{10h}	82700
κ v ₁ a _{SKF}				
	L _{10m}	3710	L _{10mh}	498200
Starší způsob s a ₂₃ pro porovnání				
a ₂₃	L _{10a}	1540	L _{10ah}	206600

Obr. 14 Výpočet ložiska[8]

Výpočet ložiska jsem provedl ve výpočtovém konfigurátoru firmy SKF [8]. Mnou navrhnutá požadovaná trvanlivost byla alespoň 35000 hodin. Což je při dvacetičtyřhodinovém denním provozu bezmála 4 roky životnost. Tuto mez navržené ložisko překročilo více než dvakrát a tím pádem je vhodné pro toto řešení.



8 SPOJKA

Pro spojení výstupního hřídele převodového elektromotoru a hřídele dopravníku je třeba použít spojku. Tyto hřídele jsou rovnoběžné a tak volím nejjednodušší způsob spojení a to spojení přímé pomocí pružné čepové spojky. Spojka je jednoduchá na konstrukci i výrobu. Bezpečnost této čepové spojky bude $k=1,8$. Použiji 4 lícované šrouby typu M10-55 ČSN 02 1111-8.8 a materiál pružného členu bude polypropylen.

Výpočtový točivý moment

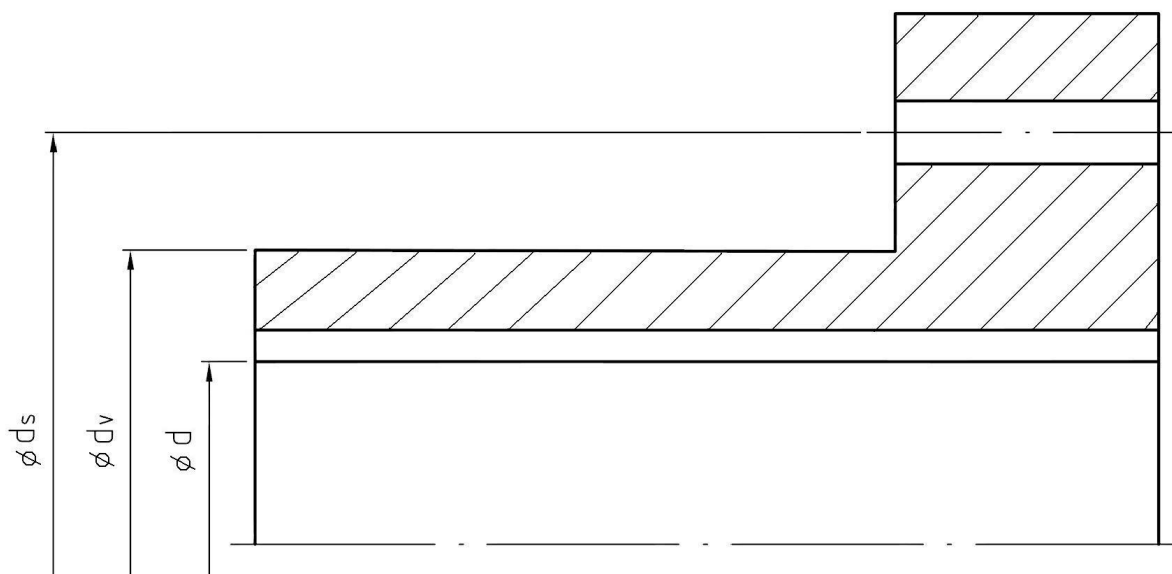
$$M_V = M_K \cdot k = 116 \cdot 1,8 = 208,8 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (8)$$

Základní rozměry spojky

$$d_p = 35 \text{ mm}$$

$$d_k = 65 \text{ mm}$$

$$d_s = 100 \text{ mm}$$



Obr. 15 Základní rozměry spojky

Síla na jeden šroub

$$F_1 = \frac{2 \cdot M_v}{d_s \cdot i} = \frac{2 \cdot 208,8}{0,1 \cdot 4} = 1044 \text{ N} \quad (9)$$



Kontrola na stříh

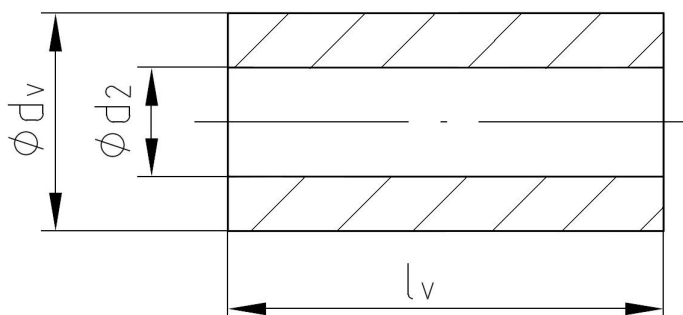
$$\tau_s = \frac{F_1}{S} = \frac{F_1}{\frac{\pi \cdot d_2^2}{4}} = \frac{1044}{\frac{\pi \cdot 0,011^2}{4}} = 10,99 \text{ MPa} \quad (10)$$

$$\tau_{Ds} = 0,4 \cdot R_e = 0,4 \cdot 640 = 256 \text{ MPa} \quad (11)$$

$$\tau_s < \tau_{Ds} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$d_2 = 11 \text{ mm}$ - Dle lit.[9] str.409

$d_v = 15 \text{ mm}$



Obr. 16 Základní rozměry pružné vložky

Kontrola pružné vložky na otláčení mezi pružnou vložkou a šroubem.

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_1}{d_2 \cdot l_v} = \frac{1044}{0,011 \cdot 0,04} = 2,37 \text{ MPa} \quad (12)$$

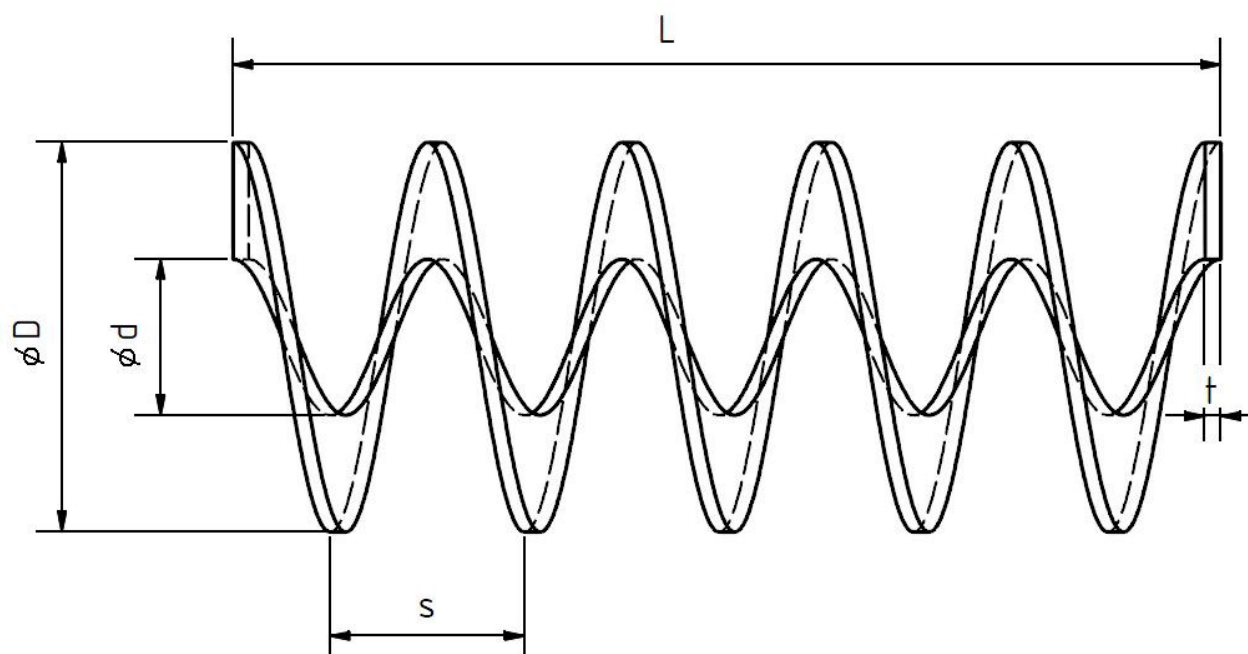
$$p_1 < p_{dov} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$p_{dov} = 5 \text{ MPa}$ – Dle lit.[9] str. 264

Tato pružná čepová spojka vyhovuje zadaným parametrům jak na stříh šroubu, tak i na otláčení pružné vložky.

9 SPIRÁLA

Důležitou částí spirálního šnekového dopravníku je spirála. Robustní bezosá spirála vyráběná firmou Rataj a.s. [2] se vyznačuje vysokou životností, kvůli tloušťce spirály. Je zhotovena z nerezové oceli AISI 304 což odpovídá materiálu 1.4301. Firma Rataj a.s. může vyrobit spirály až do délky kolem 55 m. Pro můj případ bude délka spirály 9050 mm což je 90 závitů. Na spirále u vstupu je přirozené zakončení spirály avšak u výstupu je ploché zakončení pootočené o 270° oproti přirozenému zakončení. Toto zakončení umožňuje lepší uchycení spirály k výstupní hřídeli dopravníku. Detailnější rozměry spirály je možné vidět na Obr.17.



Obr. 17 Základní parametry spirály

Tab. 2 Dodatkové parametry spirály

Rozměry v mm				
L	D	d	s	t
9050	100	34	100	5

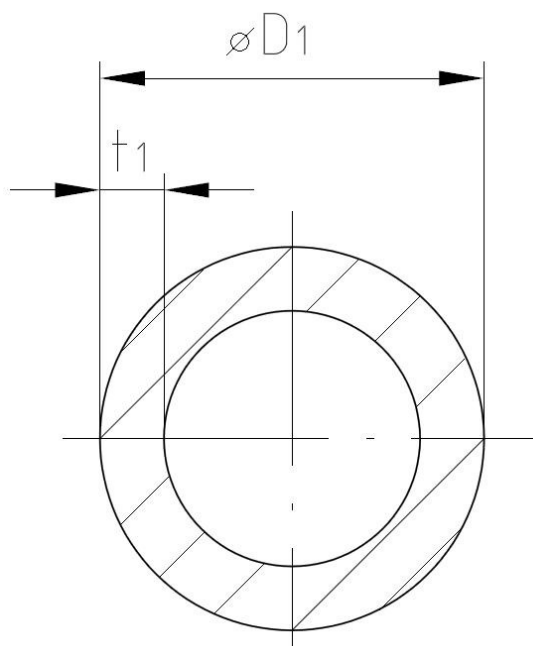


10 ŽLAB

Pro realizaci žlabu jsem využil bezešvé trubky kruhového průřezu, která je vyrobena z materiálu AISI 304 (1.4301) a je povrchově upravena mořením. Jelikož firma Nerezové materiály, s.r.o. [10] dodává trubky, dle DIN 2462, pouze do délky 7m je nutné sestavit žlab ze dvou částí o délce 4600 mm. Toto řešení je lepší pro přepravu a následnou montáž dopravníku.

$D_1=121\text{mm}$ – Dle [10] – PDF katalog pro bezešvé nerezové trubky

$t_1=4\text{ mm}$ - Dle[10] - PDF katalog pro bezešvé nerezové trubky



Obr. 18 Rozměry bezešvé trubky



11 PODPĚRY A UKOTVENÍ

Pro určení rozmístění a počtu podpor je nutné vypočítat hmotnost dopravníku. Zanedbám hmotnost přírub a výstupního hřídele, jelikož by ve výsledku tyto hodnoty neměly příliš velký vliv na výsledek. Motor je usazen na vlastní podpěře a proto nebude do výpočtu započítán.

11.1 HMOTNOST SPIRÁLY

$$V = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot z \cdot t = \frac{\pi \cdot (0,1^2 - 0,034^2)}{4} \cdot 90 \cdot 0,005 = 0,003126 \text{ m}^3 \quad (13)$$

$$m_s = V \cdot \rho_s = 0,003126 \cdot 7850 = 24,54 \text{ kg} \quad (14)$$

$z = 90$ závitů

$\rho_s = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ - dle [10]

11.2 HMOTNOST DOPRAVOVANÉHO MATERIÁLU

$$m_d = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l_w \cdot \rho_v = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} \cdot 8,5 \cdot 750 = 50,07 \text{ kg} \quad (15)$$

11.3 HMOTNOST ŽLABU

$$m_z = l_w \cdot m_n = 8,5 \cdot 11,72 = 99,62 \text{ kg} \quad (16)$$

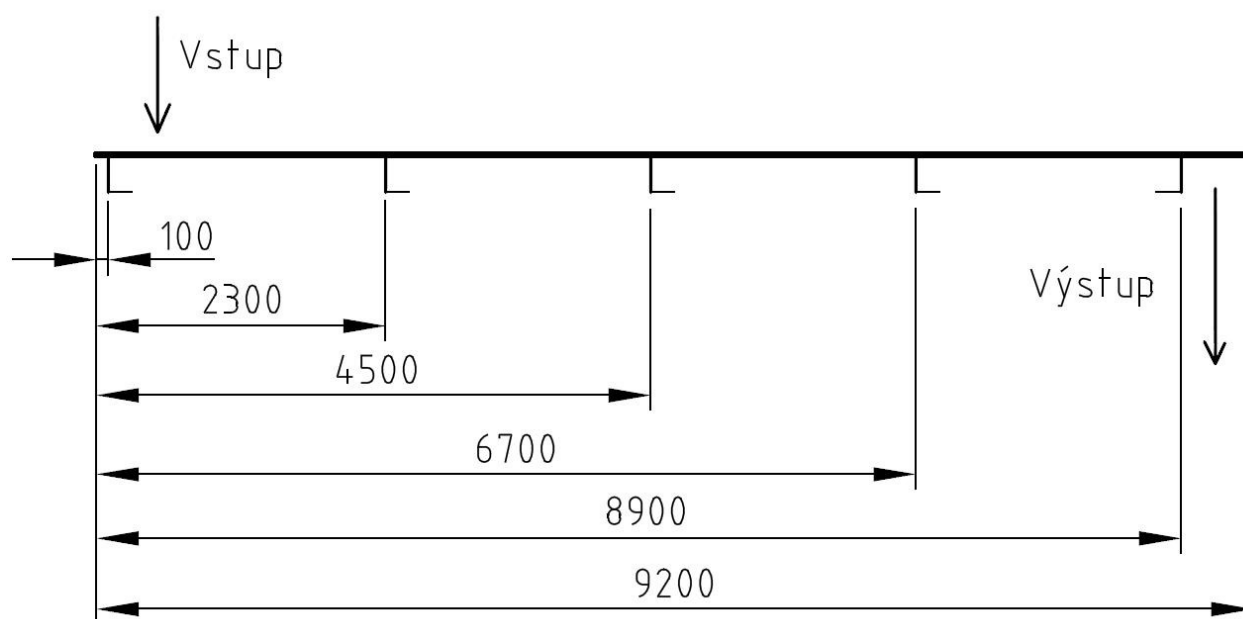
$m_n = 11,72 \text{ kg/m}$ - Dle [10] - PDF katalog pro bezešvé nerezové trubky



11.4 CELKOVÁ HMOTNOST DOPRAVNÍKU BEZ MOTORU

$$m_c = m_s + m_d + m_z = 24,54 + 50,07 + 99,62 = 174,23 \text{ kg} \quad (17)$$

Jelikož je celková hmotnost relativně velká rozhodují se pro umístění pěti podpěr uspořádaných dle Obr.19.



Obr. 19 Rozmístění podpěr



12 PEVNOSTNÍ VÝPOČET

Výpočet délky těsného pera proveden dle lit.[11] str. 1080. Materiál pera je 1.0060.

$$F_p = \frac{2 \cdot M_K}{d_p} = \frac{2 \cdot 116}{0,035} = 6628,57 \text{ N} \quad (18)$$

$$d_p = 35 \text{ mm}$$

$$p_D = 0,8 \cdot p_0 = 0,8 \cdot 150 = 120 \text{ MPa} \quad (19)$$

$$p_0 = 150 \text{ MPa} - \text{Dle lit. [11] str. 1081}$$

$$l_p = \frac{F_s}{t_2 \cdot p_D} = \frac{6628,57}{3,3 \cdot 120} = 16,74 \text{ mm} \quad (20)$$

→ volím 32 mm

$$t_2 = 3,3 \text{ mm} - \text{Dle lit. [11] str. 1078}$$



13 MONTÁŽ A ÚDRŽBA DOPRAVNÍKU

13.1 MONTÁŽ DOPRAVNÍKU

Dopravník bude umístěn na vodorovnou betonovou desku, kde bude připevněn pomocí matice a závitové tyče, uchycené v připravené díře, pomocí chemické kotvy.

Dopravník bude částečně smontován již ve výrobní hale, kde se na nerezové bezešvé trubky přivaří podpěry (pozice 14), příruby (pozice 11), násypný a výsypný otvor (pozice 12, 3). Dále bude svařena spirála (pozice 2) s výstupní hřídelí (pozice 4). Tyto operace lze provést i na místě, avšak svařování by bylo technologicky náročnější. První montážní operací prováděnou na místě bude smontování nerezových trubek, tvořící žlab. Musí být nainstalovány dle sestavného výkresu. Dalším krokem je vsunutí spirály do žlabu. Na straně s výstupní hřídelí bude nejdříve přišroubována výstupní příruba (pozice 10) pomocí 8 šroubu M10x44 ČSN 02 1111-8.8 s pružnou podložkou 10 ČSN 02 1740.11 a maticí M10x1,5 ČSN 02 1402.2. Poté bude na hřídel nasazeno ložisko a zasunuto do díry výstupní příruby a zajistí se pojistným kroužkem. Na výstupní přírubu se dále umístí krytka (pozice 9) připevněna 8 šrouby M8x25 ISO 4017-8.8. Dále se zkompletuje pružná čepová spojka. Výstupní hřídel dopravníku a motoru se osadí danými těsnými pery a kotoučem čepové spojky. Motor se usadí do správné pozice a kotouče čepové spojky se spojí pomocí šroubu M10x55 ČSN 02 1111-8.8, na kterém je nasazena pružná vložka (pozice 8) a pružná podložka 10 ČSN 02 1740.11 s maticí M10x1,5 ČSN 02 1402.2. Poslední částí je vše zkontrolovat a našroubovat vstupní přírubu (pozice 13) na vstupní stranu dopravníku šroubem M10x44 ČSN 02 1111-8.8 s pružnou podložkou 10 ČSN 02 1740.11 a maticí M10x1,5 ČSN 02 1402.2.

13.2 ÚDRŽBA DOPRAVNÍKU

Údržba dopravníku se bude provádět 1x za 6 měsíců, kdy bude zkontrolováno správné dotažení všech šroubů a kontrola opotřebení spirály. Jednou za 4 roky se demontuje soudečkové ložisko, které bude vyměněno za nové stejného typu a rozměru.



ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se zabýval dopravou spirálním šnekovým dopravníkem. Úvodem bylo provedení jeho teoretické části a následovala konstrukce vodorovného spirálního šnekového dopravníku. Ze zadaných a vypočtených parametrů jsem nejprve určil základní rozměry šnekovnice. Následně jsem z výkonu a požadovaných otáček dopravníku navrhl ideální motor pro pohon dopravníku. Důležitý byl návrh ložiska zachycující veškerou axiální sílu, která by byla jinak převedena do motoru a výrazně by se snížila jeho účinnost a životnost. Pro spojení výstupního hřídele a hřídele motoru zde byla použita mnou navržená pružná čepová spojka a poté byla provedena kontrola její únosnosti. Určil jsem detailnější rozměry spirály a dle hmotnosti působící na dopravník jsem určil rozložení podpěr a rozměry žlabu. Poslední část je věnována mnou vypočítané délce pera, které vydrží dané počítané zatížení. Výkresová dokumentace vychází z výsledků výpočtové části spirálního šnekového dopravníku. Je vyhotovena v programech Autodesk Inventor 2009 a Autocad Mechanical 2009. Spirální šnekový dopravník je zajímavým řešením dopravy mnoha materiálu.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] DRAŽAN, František a Karel JEŘÁBEK. *Manipulace s materiálem*. Praha: SNTL, 1979, 456 s.
- [2] RATAJ a.s. *RATAJ a.s.* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: www.rataj.cz
- [3] HAS a.s. *HAS a.s.* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: www.has.cz
- [4] KATCHEM spol. s.r.o. *KATCHEM spol. s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: www.katchem.cz
- [5] RATAJ SK, s.r.o. *RATAJ SK, s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: www.ratajsk.sk
- [6] HROCH, Pavel. *Doprava zemědělských komodit bezosým šnekovým dopravníkem*. Ostrava, 2009. Dostupné z: www.dspace.vsb.cz. Bakalářská práce. Vedoucí práce Ing. Robert Brázda.
- [7] SEW-EURODRIVE. *SEW-EURODRIVE: převodové motory, frekvenční měniče a decentrální pohonná technika* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: www.sew-eurodrive.cz
- [8] SKF CZ. *Czech Republic - Ložiska a ložiskové jednotky Mazací systémy Mechatronika Těsnění Služby - SKF.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: www.skf.cz
- [9] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Druhé doplněné vydání. Úvaly: Albra - pedagogické nakladatelství, 2005. ISBN 80-7361-011-6.
- [10] NEREZOVÉ MATERIÁLY, s.r.o. *NEREZOVÉ MATERIÁLY* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: www.nerezove-materialy.cz
- [11] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

D	[mm]	vnější průměr spirály
d	[mm]	vnitřní průměr spirály
D ₁	[mm]	vnější průměr žlabu
d ₂	[mm]	průměr šroubu
d _k	[mm]	vnější průměr kotoučové spojky
d _p	[mm]	průměr v místě kotoučové spojky
d _s	[mm]	roztečný průměr kotoučové spojky
d _v	[mm]	vnější průměr pružné vložky
F ₁	[N]	síla působící na jeden šroub
F _a	[N]	axiální síla
F _p	[N]	síla působící na pero
F _r	[N]	radiální síla
C _h	[-]	součinitel sklonu
i	[-]	počet šroubů
L	[mm]	délka spirály
l _p	[mm]	délka pera
l _v	[mm]	dopravní vzdálenost
m _c	[kg]	celková hmotnost
m _d	[kg]	hmotnost dopravovaného materiálu
M _k	[N·m]	točivý moment motoru
m _n	[kg·m ⁻¹]	hmotnost jednoho metru nerezové oceli
m _s	[kg]	hmotnost spirály
M _v	[N·m]	výpočtový točivý moment
m _ž	[kg]	hmotnost žlabu
n	[s ⁻¹]	otáčky
n _v	[s ⁻¹]	výstupní otáčky motoru
p ₁	[MPa]	tlak mezi pružnou vložkou a šroubem
p _d	[MPa]	dovolený tlak pera
p _{DOV}	[MPa]	dovolený tlak
p _o	[MPa]	základní tlak v náboji
P _f	[W]	výkon motoru
Q	[kg·h ⁻¹]	dpravované množství



Q_{SKUT}	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	skutečný objemový dopravní výkon
Q_v	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	objemový dopravní výkon
R_s	$[mm]$	účinný poloměr šnekovnice
s	$[mm]$	stoupání šnekovnice
S	$[m^2]$	plocha průřezu šroubu
S_1	$[m^2]$	plocha otláčení pružné vložky
t	$[mm]$	tloušťka spirály
t_1	$[mm]$	tloušťka stěny žlabu
t_2	$[mm]$	hloubka drážky pro pero v náboji
V	$[m^3]$	objem materiálu spirály
w	$[-]$	celkový součinitel odporu
w_1	$[-]$	celkový součinitel odporu pšenice
z	$[-]$	počet závitů spirály
α	$[^\circ]$	úhel stoupání šnekovnice
ΔQ	$[\%]$	Odchylka skutečného dopravního výkonu od požadovaného
ρ_s	$[kg \cdot m^{-3}]$	objemová hmotnost oceli
ρ_v	$[kg \cdot m^{-3}]$	objemová hmotnost pšenice
τ_{DS}	$[MPa]$	dovolené stříhové napětí
τ_s	$[MPa]$	stříhové napětí
φ	$[^\circ]$	třecí úhel
ψ	$[-]$	součinitel plnění
ψ_1	$[-]$	součinitel plnění pšenice



SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

Výkres sestavy:	Spirální dopravník	SSD-00
Výkres součásti:	Spirála	SSD-02
	Výstupní hřídel	SSD-04
Seznam položek:	Spirální dopravník	SSD-00k

Příloha na CD:

Zpráva:	Spirální šnekový dopravník (formát PDF)
Výkresová dokumentace:	Výkresová dokumentace (formát PDF)